

Radar unterm Lack

Die Reparaturlackierung bei vorhandener Sensorik ist weniger trivial als gedacht. Der K+L-Betrieb hat zwingend die Regeln des Fahrzeugherstellers bzw. OEM zu beachten, damit Fehlfunktionen von Komfort- und Fahrerassistenzsystemen vermieden werden. Zudem besteht die Gefahr, für Folgefehler aufgrund nicht eingehaltener Reparaturrichtlinien haftbar gemacht zu werden. Das Allianz Zentrum für Technik (AZT) hat kürzlich über seine Ergebnisse zur Bestimmung der Lackschichtdicke auf Kunststoffbauteilen berichtet.¹ Darüber hinaus gibt es neue Erkenntnisse vom Kraftfahrzeugtechnischen Institut (KTI) zum Thema Reparaturlackierungen in Zusammenhang mit Ultraschall und/oder Radarsensorik.



Nicht immer ist die Radarsensorik für den K+L-Betrieb so offensichtlich wie an diesem BMW erkennbar.

Quelle: BMW.

Wurden Unfälle früher vor allem durch die Aufmerksamkeit und das fahrerische Geschick des Autofahrers verhindert, liegt es heute immer öfter an der Fülle und der Intelligenz der verbauten Sensorik, Sensorfusion und Software im Fahrzeug. Doch gänzlich verhindern lassen sich auch damit (noch) nicht alle Kollisionen. Zumindest solange es einen Mischverkehr auf unseren Straßen gibt. Dieser Fakt sichert einen Teil des künftigen Geschäfts in K+L-Betrieben. Allerdings sehen sich Unfallreparatur- und Lackierbetriebe mit neuen Anforderungen bei der Instandsetzung konfrontiert. Ein besonderes Augenmerk betrifft den Bereich der Sensorik. So gut wie jedes aktuelle Auto hat

inzwischen mindestens ein PDC-System an Bord, das Anfahrkollisionen beim Parken durch rechtzeitige Warnung vor Hindernissen vermeiden soll. Im Zuge der neuen EU-Gesetzgebung, steigenden Anforderungen beim Euro NCAP-Crashtest und wachsenden Kundenwünschen nach mehr Komfort- und Assistenzfunktionen nimmt die Zahl der verbauten Sensorik kontinuierlich zu.



Die Ausstattung mit Ultraschall- und Radarsensoren nimmt in den kommenden Jahren weiter zu.

Quelle: Kiebach 2021.ⁱⁱ

Viele Systeme, darunter der Spurwechselwarner, Auspark- oder Kreuzungsassistenten und Systeme zur Längs- und Querregelung, verwenden dafür Radarsensoren, die sich häufig hinter Stoßfängern befinden und bei einer notwendigen Reparatur von äußeren Fahrzeugteilen (Verkleidungen, Stoßfänger) nicht auf den ersten Blick zu erkennen sind.




Eine Vielzahl Sensoren in aktuellen Fahrzeugen ist hinter Stoßfängern verbaut.

Quelle: Kiebach 2021.

Informationen prüfen

Systeme zur Reparatur von Kunststoffbauteilen sind heute vielfältig am Markt zu finden. Bewährt hat sich zum Beispiel die Klebtechnik, Kunststoffschweißen, aber auch das Verwenden von Stabilisierungsklammern und die anschließende Reparaturlackierung. Solche Technologien sind nun insbesondere auch unter dem Gesichtspunkt der „Radarverträglichkeit“ zu bewerten. Dabei ist für den K+L-Betrieb vor Beginn der Arbeit stets ein Blick in die Ausstattungsliste (FIN-Abfrage) des jeweiligen Fahrzeugs sowie in die Reparaturrichtlinien des Automobilherstellers notwendig.



Herstellervorgaben

Radarsensoren – Auszug aus den Herstellervorgaben zum Lackieren (Beispiel Volkswagen)

- Vor dem Bereich der Steuergeräte (Spurwechselassistent) darf die maximale Lackschichtdicke von 150 µm nicht überschritten werden
- Eine Kunststoffreparatur darf im Umkreis von mindestens 25 cm nicht durchgeführt werden
- Spachtelarbeiten dürfen im Umkreis 25 cm nicht durchgeführt werden
- Eine Dreifachlackierung der Stoßfängerabdeckung ist nicht zulässig
- Vor Beginn der Lackierung durch ein Schliffbild im benachbarten Bereich prüfen, ob es sich nicht um eine bereits nachlackierte Stoßfängerabdeckung handelt
- Spot-Repair vor dem Bereich der Steuergeräte (Spurwechselassistent) ist nicht zulässig

Quelle: Volkswagen AG

Ein Auszug der Herstellervorgaben zum Lackieren.

Quelle: Kiebach 2021.

Wie das AZT in einem Beitrag¹ mitteilt, haben verschiedene Fahrzeughersteller für ihre Modellpalette teils allgemeine und teils modellspezifische Vor- und Freigaben für die Schadeninstandsetzung von Kunststoff-Stoßfängerverkleidungen bei dahinter verbauter Radarsensorik in die jeweiligen Reparaturleitfäden aufgenommen. Ein mögliches und wichtiges Kriterium sei dabei die aufgebraachte Lackschichtdicke.

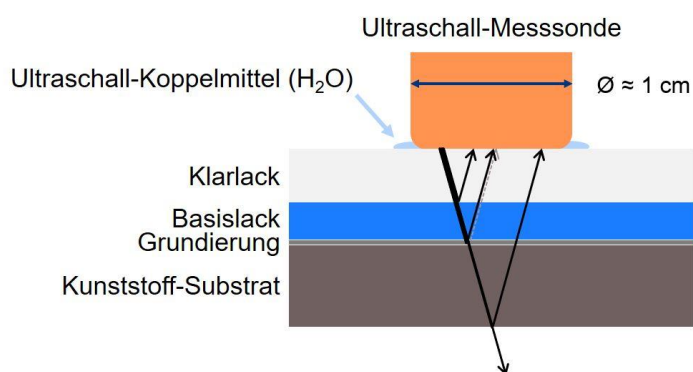
Dicke messen



Ein Schichtdickenmessgerät für Kunststoff (rechts) ist in Werkstätten eher selten zu finden. Quelle: Kiebach 2021.

Für die Messung der Lackschichtdicke haben sich bei Sachverständigen, Gebrauchtwagenkäufern, aber auch zur alltäglichen Verwendung im K+L-Betrieb Schichtdickenmessgeräte bewährt, die auf dem Induktionsprinzip (eisenhaltige Materialien) oder dem Wirbelstromverfahren (Nichteisenmetalle) basieren.

Die konkrete Schichtdickenmessung auf Kunststoff hingegen erfordert ein auf Ultraschall basierendes und deutlich teureres Messgerät. Ein solches ist bisher eher selten



Messprinzip: Teil-Reflexion des Schallimpulses an Grenzflächen ermöglicht Schichtdickenberechnung anhand der Signallaufzeit

Prinzip-Skizze bei der Ultraschallmessung.

Quelle: Behl/Winterberg 2021.

in Reparaturbetrieben zu finden. Anhand der Laufzeit des Ultraschallsignals von der gerichteten Ausstrahlung bis zum Wiedereintreffen am als Sender und Empfänger dienenden Ultraschallmesskopf lässt sich bei bekannter Wellenlänge des Schallimpulses die Schichtdicke zerstörungsfrei ermitteln. Ob ein solches Gerät für den K+L-Betrieb in Zusammenhang mit der Lackierung von Kunststoffbauteilen tatsächlich sinnvoll ist, wird später noch geklärt.

Test beim AZT

Was bedeutet die Reparaturlackierung von Kunststoffbauteilen im Sensorbereich in der Praxis für den K+L-Betrieb? Dazu hat das AZT eigene aufwendige Versuche durchgeführt, bei denen mehrere Original-Ersatzteile der hinteren Stoßfängerverkleidung eines VW Passat der Baureihe 3C gekauft und durch einen Lackierermeister und Lacktechniker im AZT lackiert wurden.

Im Reparaturleitfaden von VW wird die maximal zulässige Lackschichtdicke auf der hinteren Stoßfängerverkleidung im Bereich der Heckradarsensoren mit 150 µm angegeben. Beim AZT-Test kamen als Farbtöne die Original-Außenfarbe des VW Passat und weitere Farbtöne aus der aktuellen Farbpalette des VW-Konzerns zur Anwendung.ⁱ Mit dem Versuch sollten kritische und weniger kritische Farben für die Radardurchdringung und Lackierungen mit verschiedenen Effektpigmenten sowie Zwei- und Drei-Schicht-Lackierungen abgedeckt werden.ⁱ Die Lackierung erfolgte mit der Standard-Mischformel, was aber in der Praxis und bei verschiedenen Lackherstellern zu großen Farbtondifferenzen führen kann.



Die fahrerseitig mit Lackhersteller A (linke Bildhälfte) und beifahrerseitig mit Lackhersteller B (rechte Bildhälfte) in VW Chili Red (LS3M) lackierte Heckstoßfängerverkleidung zeigt deutliche Farbtonunterschiede bei Verwendung der Standard-Mischformel.

Quelle: Behl/Winterberg 2021.

Laut AZT entsprachen alle Lackierungen einer Neuteillackierung nach Empfehlung des jeweiligen Reparaturlackherstellers für die gewählte Lackfarbe. Das Hauptaugenmerk lag auf der Analyse der Lackschichtdicke in Kombination mit verschiedenen Lackfarben, weshalb zwei verschiedene Reparaturlacksysteme verwendet wurden. Die abschließende Lackierung erfolgte mit einem 2K-Klarlack, da dieser bei beiden verwendeten Reparaturlacksystemen technologisch vergleichbar ist. Nach der Lackierung wurden die Heckradarsensoren des VW Passat kalibriert und die Lackschichtdicken im Bereich der Radarsensoren mit einem Ultraschall-Schichtdickenmessgerät an definierten Stellen gemessen.¹

Zur Kontrolle wurde die Lackschichtdickenmessung auf Farbmusterblechen gemessen, die während der Reparaturlackierung mit lackiert worden waren. Für noch mehr Genauigkeit und eine bessere Vergleichbarkeit wurden die Stoßfängerverkleidungen zusätzlich unter dem Rasterelektronenmikroskop untersucht und die Schichtdicken der einzelnen Lackschichten bestimmt.¹

AZT-Ergebnisse

Die wesentlichen Erkenntnisse des AZT nach den durchgeführten Versuchen in Kurzform:¹

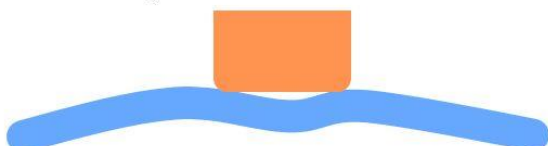
- Um die Erfüllung der Lackieranforderungen hinsichtlich der zulässigen Schichtdicke im Bereich der Radarsensoren beurteilen zu können, ist an der Stoßfängerverkleidung genau in diesem Bereich zu messen.

Zu wenig Anpressdruck und/oder falscher Aufsetzwinkel – Spalt am Messkopfrand



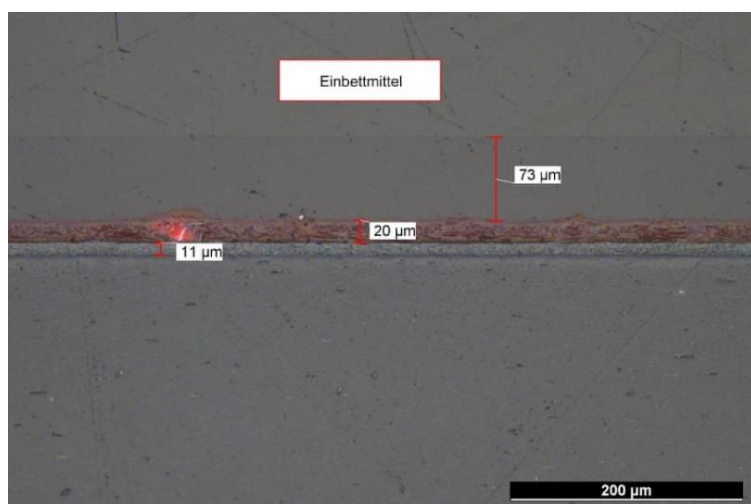
oder

Zu viel Anpressdruck – Verformung des Stoßfängers

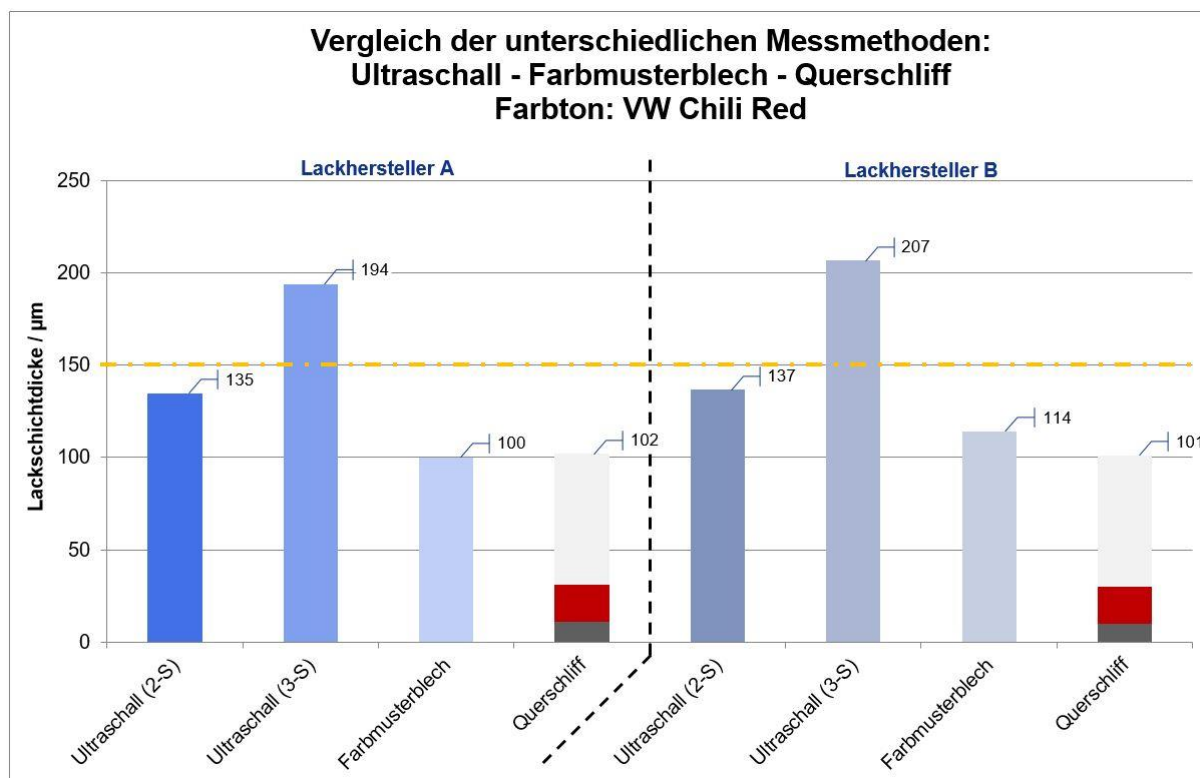


*Einflussfaktoren bei der Ultraschallmessung.
Quelle: Behl/Winterberg 2021.*

- Das Bestimmen der Lackschichtdicke mit Ultraschall auf Kunststoff ist schwierig und kann fehlerbehaftet sein, wenn die Bauteiloberfläche nicht relativ eben ist. Der Ultraschallmesskopf muss ohne großen Druck möglichst eben aufgesetzt werden, um eine hohe Wiederholgenauigkeit zu erzielen.
- Das Bauteil sollte im Bereich des Messpunkts auf einer stabilen Unterlage aufgelegt werden.
- Ist das Bauteil am Fahrzeug verbaut oder liegt auf einem Gestell, ist die Wiederholgenauigkeit deutlich schlechter, Fehlversuche nehmen zu und die Streuung der Messwerte ist größer, weil Winkelfehler das Ergebnis beeinflussen.
- Die Grundeinstellung des Ultraschall-Schichtdickenmessgeräts muss korrekt sein und der Messmodus ist auf Zwei-Schicht- oder Drei-Schicht-Messbetrieb einzustellen. Sonst besteht die Gefahr, dass bei auftretenden Problemen im Zuge der Heckradarkalibrierung ein einwandfrei lackierter Stoßfänger als „nicht in Ordnung“ bewertet wird und enorme Zusatzkosten verursacht werden, obwohl nur die Einstellung am Messwerkzeug falsch war.
- Die auf den mitlackierten Farbmusterblechen ermittelten Lackschichtdicken waren oft signifikant niedriger im Vergleich zu den Ergebnissen der Ultraschallmessung auf Kunststoff. Die aufgetragene Lackschichtdicke für die Neuteillackierung lag in allen Fällen unterhalb des Grenzwerts von 150 μm .
- Sowohl die Messverfahren „magnetische Induktion“ oder „Wirbelstrom“ als auch der Einsatz von Ultraschall als Messprinzip geben keinen Aufschluss über die tatsächlich auf die Stoßfängerverkleidung aufgetragenen Lackschichtdicken im Bereich der Radardurchstrahlung.



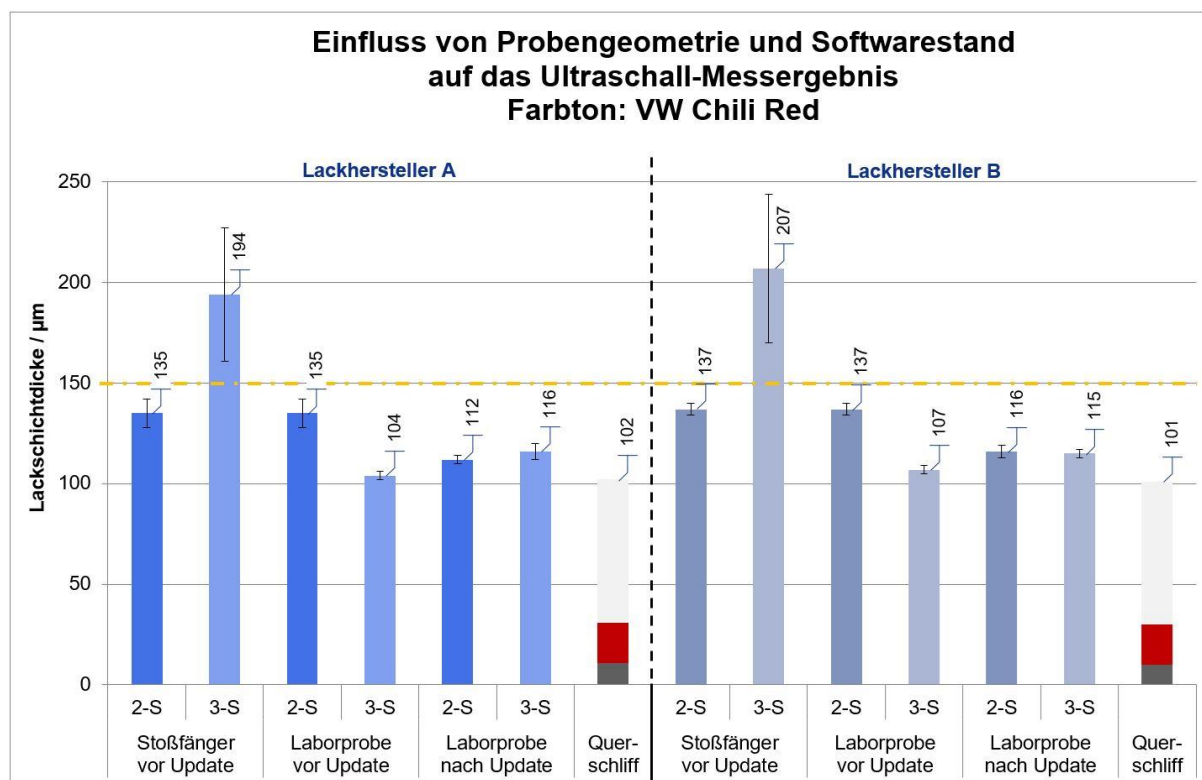
- Das Bild linksⁱ zeigt den Querschliff einer Probe des in VW Chili Red lackierten Stoßfängers. Die untere Bildhälfte zeigt das Kunststoffmaterial des Stoßfängers, nach oben hin folgt der Lackaufbau aus Grundierung (11 μm), der rote Effekt-Basislack (20 μm) und der abschließend lackierte 2K-Klarlack (73 μm).



Vergleich der Messergebnisse für die Lackschichtdicke einer Stoßängerverkleidung in VW Chili Red.

Quelle: Behl/Winterberg 2021.

- Das Bild oben zeigt alle Messwerte. Mit beiden verwendeten Lackherstellern wurden die Vorgaben des Fahrzeugherstellers bezüglich der zulässigen Lackschichtdicke (max. 150 µm) bei verbauter Radarsensorik eingehalten (102 µm und 101 µm). Die per magnetischer Induktion auf dem Farbmusterblech bestimmte Lackschichtdicke stimmte sehr gut mit den Querschleifergebnissen überein, wodurch die Beurteilung der Fahrzeugherstellervorgaben jedoch eindeutig nicht beeinflusst wurde. Anders bei den Ultraschallmessungen: Im Zwei-Schicht-Messmodus lagen die Werte sehr nahe an der maximal zulässigen Schichtdicke und um über ein Drittel höher als beim Querschleif. Beim Drei-Schicht-Messmodus wurde der definierte Grenzwert deutlich überschritten.
- Auch für andere Lackfarben unterschieden sich die Ultraschallmesswerte von den Messungen auf dem Farbmusterblech und den Werten aus den Querschleifen.
- Der Softwarestand des Ultraschallmessgeräts beeinflusste die Messergebnisse.
- Die am Markt verfügbaren Ultraschall-Schichtdickenmessgeräte wurden nicht vordergründig für die Anwendung im Kfz-Umfeld entwickelt und getestet und müssen erst mittels Querschleifproben kalibriert werden.



Einfluss des Softwarestands des Ultraschallmessgeräts auf das Messergebnis. Quelle: Behl/Winterberg 2021.

Empfehlungen für K+L-Betriebe

Anhand der Ergebnisse des AZT kann man K+L-Betrieben die Empfehlung geben, dass die Anschaffung eines Ultraschallmessgeräts zur Kontrolle der Reparaturlackierung im Sensorbereich nicht zwingend erforderlich ist. Aufgrund möglicher Abweichungen bei der Ultraschallmessung sind Messwerte, die zum Beispiel von Sachverständigen im Nachgang einer Reparaturlackierung mittels Ultraschallmessgerät ermittelt werden könnten, kritisch zu hinterfragen, da sich häufig keine zuverlässigen und belastbaren Ergebnisse erzielen lassen. Seitens der Fahrzeughersteller gibt es aktuell auch keine Empfehlungen für geeignete Messgeräte oder ein entsprechendes Vorgehen für eine belastbare Messung.¹

Wie das AZT empfiehlt auch Frank Barduna, Axalta Training Manager, beim Lackieren von Kunststoffstoßstangen das Mitlackieren eines Farbmusterblechs, um darauf anschließend mit einem konventionellen Schichtdickenmessgerät eine Schichtdickenmessung durchzuführen, die auch dokumentiert werden sollte. Dies ist zwar nicht so exakt wie eine Querschleiffuntersuchung, kam dem aber in den AZT-Untersuchungen recht nahe und ist ohne viel Aufwand mit vorhandenem Equipment im Betrieb realisierbar. Darüber hinaus kommt das AZT zu dem Schluss: „Unter Berücksichtigung der Versuchsergebnisse ist die fahrzeugherstellerseitige Festlegung von Reparaturmethoden alleinig anhand der maximal zulässigen Lackschichtdicke mindestens fragwürdig beziehungsweise ungeeignet. Vielmehr wird die Ausbreitung des Radarsignals durch die Lackmaterialien selbst beeinflusst. Graphithaltige Grundierungen und Füller sowie

die unterschiedlichsten Effektpartikel im Basislack sind dabei wichtige Einflussfaktoren.“ Die Definition von kritischen und weniger kritischen Farbtönen sowie die Entwicklung hinsichtlich des radarbeeinflussenden Effekts robuster Lackformulierungen mit entsprechenden Effektpigmenten erscheinen vor diesem Hintergrund sinnvoll. Einzelne Fahrzeughersteller haben erste Schritte in diese Richtung beschrritten und auch die Lackhersteller forschen an Lösungen.

ⁱ Behl, T.; Winterberg, J.: Zuverlässige Bestimmung der Lackschichtdicke auf Kunststoffbauteilen mit dahinter verbauter Radarsensorik. In Verkehrsunfall und Fahrzeugtechnik (VKU), Ausgabe 04/2021.

ⁱⁱ Kiebach, H.: 81. Fachtagung des Münchner Arbeitskreis für Straßenfahrzeuge e. V. (MAS e. V.), 14. - 16.05.2021.

Interview Helge Kiebach, KTI Lohfelden

Das Kraftfahrzeugtechnische Institut (KTI GmbH & Co. KG) in Lohfelden hat eigene Versuche zu den Auswirkungen nachträglich lackierter Sensorik an Fahrzeugen durchgeführt. Wir sprachen dazu mit Dipl.-Ing. (FH) M.Eng. (TAR) Helge Kiebach, Leiter Schadenforschung beim KTI, über die Ergebnisse sowie die grundsätzliche Problematik bei der Reparaturlackierung im Sensorbereich moderner Fahrzeuge.



Helge Kiebach, Leiter Schadenforschung beim KTI.

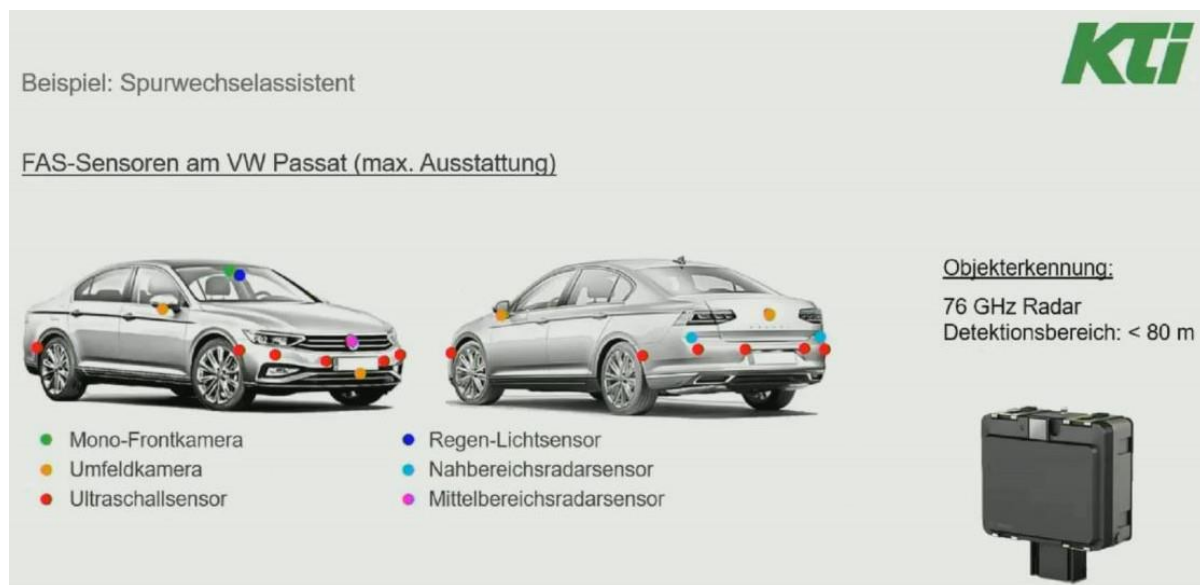
Herr Kiebach, auf welche Sensoren im Fahrzeug ist bei Reparaturlackierungen besonders zu achten? Und wie kann ein K+L-Betrieb diese Sensoren vorab identifizieren?

Kiebach: Durch Reparaturlackierungen, aber auch Folierungen können die Signale von Ultraschall- und Radarsensoren gestört werden. Ultraschallsensoren sind an der Außenhaut immer sichtbar, da sie mit akustischen Signalen arbeiten, welche Bauteile nicht durchdringen können. Anders sieht es bei Radarsensoren aus. Diese können auch hinter Stoßfängern verbaut sein und sind dann von außen nicht sichtbar. Deshalb muss bei modernen Fahrzeugen geprüft werden, ob durch eine Arbeit am Fahrzeug der Durchstrahlbereich von Radarsensoren verändert wird. So sind Folierungen und Reparaturen des Stoßfängers im Durchstrahlbereich von Radarsensoren grundsätzlich nicht erlaubt und zur Nachlackierung gibt es fahrzeugspezifische Vorgaben vom Hersteller. Bei einigen Fahrzeugen ist auch eine Kalibrierung erforderlich, sobald sich die Position und Ausrichtung des Sensors, zum Beispiel durch Lösen des Stoßfängers, geändert hat. Voraussetzung für eine fachgerechte Reparatur ist deshalb, zunächst zu

erfassen, mit welchen Fahrerassistenzsystemen und dazugehörigen Sensoren ein zu reparierendes Fahrzeug ausgestattet ist. Herstellerübergreifend ist dies für die überwiegende Anzahl der Fahrzeuge durch eine Abfrage mittels der Fahrzeugidentifikationsnummer (FIN) möglich. Stellt sich heraus, dass keine Radarsensoren verbaut sind, dürfen Stoßfängerverkleidungen selbstverständlich ohne Berücksichtigung der radar-spezifischen Reparaturvorgaben lackiert werden.

Welche Fahrzeugsysteme sind auf die Informationen dieser Sensoren angewiesen?

Kiebach: Ultraschallsensoren haben eine sehr begrenzte Reichweite von höchstens zehn Metern und werden daher bei Parkassistenzsystemen und der Überwachung des toten Winkels zur Erkennung von Objekten im nahen Umfeld des Fahrzeugs eingesetzt. Radarsensoren haben eine deutlich höhere Reichweite und werden für verschiedenste – zum Teil sicherheitskritische Funktionen – genutzt. Neben Abstandregelsystemen nutzen typischerweise auch Notbrems- und Spurwechselsysteme die Informationen von Radarsensoren. Neuerdings werden auch nach hinten gerichtete Radarsensoren verwendet, um beim Türöffnen vor von hinten herannahenden Fahrzeugen oder Radfahrern zu warnen oder bei Rückwärtsfahrt und Kollisionsgefahr automatisch zu bremsen.



Beispiel für die Anzahl der FAS-Sensorik im aktuellen VW Passat.

Quelle: Behl/Winterberg 2021.

Auf den Signalen von Radarsensoren in den vorderen Stoßfängern basieren Funktionen wie Abbiege-, Ausweich- und Kreuzungsassistenten. Funktionen also, die aktiv eine Lenkbewegung oder Bremsung in Notsituationen einleiten können. Aber auch PreCrash-Systeme, welche bei bevorstehenden Kollisionen präventive Schutzmaßnahmen einleiten, beruhen auf Informationen von Radarsensoren. Hierbei werden Gurtstraffer aktiviert, Sitze verstellt oder das Fahrzeug wird in Sekundenbruchteilen vor einer Seitenkollision um mehrere Zentimeter angehoben.

Was ist die grundsätzliche Problematik bei der Lackierung dieser Sensoren im Reparaturfall?


Kiebach: Ultraschallsensoren kann man sich vorstellen wie eine Kombination aus Lautsprecher und Mikrofon. Es wird also eine schwingende Membran zum Aussenden und Empfangen akustischer Wellen genutzt. Drei wesentliche Probleme können deshalb durch eine Nachlackierung oder Folierung auftreten. Erstens kann durch eine nachträgliche Beschichtung die Membran mit dem Gehäuse durch sogenannte „Schallbrücken“ verspannt werden, wodurch die freie Schwingung gestört werden kann. Zweitens kann durch ein Anschleifen der metallischen Membran deren Dicke verringert und sich dadurch ihre Verformung verändern. Und drittens kann durch zu viel Beschichtung die Masse der Membran erhöht werden, wodurch sich das Schwingverhalten verschlechtern kann. Im Gegensatz zu Ultraschallsensoren arbeiten Radarsensoren mit elektromagnetischen Wellen. Da auch Licht auf elektromagnetischen Wellen beruht, kann für eine vereinfachte Vorstellung zu den Störungen von Radarsensoren eine Analogie zur Optik hilfreich sein. Demnach kann man sich einen Stoßfänger für einen Radarsensor vorstellen wie eine Brille für uns Menschen. So können Verkratzungen zu Streuungen führen, eine zu starke Lackschicht kann eine hohe Absorption oder Reflexion zur Folge haben. Auch eine falsche Brennweite durch eine unetete Materialdicke im Stoßfänger mit seiner Beschichtung und ein schiefer Sitz können zu „Fehlsichtigkeit“ führen.

KTI

Nachträgliche Beschichtungen an Radarsensoren

Störeinflüsse

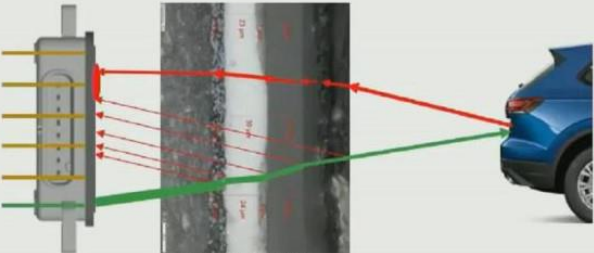
- Beeinflussung elektromagnetischer Wellen (Brechung, Streuung, Reflexion und Absorption)
- Fahrzeugspezifische Vorgaben hinsichtlich Reperaturlackierung




Empfangsantennen

Sendeantenne

Zweiwegedämpfung!



Quelle: BASF Coatings GmbH



Vergleichbar den aus der Optik bekannten Gesetzmäßigkeiten verhalten sich auch die elektromagnetischen Wellen eines Sensors beim Durchgang durch den Stoßfänger und die Lackschichten. Quelle: Kieberg 2021.

Reagieren alle Sensoren „empfindlich“ bei einer Reperaturlackierung oder gibt es auch Fahrzeughersteller/Zulieferer die „robustere“ Sensorik verwenden, die auch auf Reperaturlackierungen unempfindlich(er) reagiert?

Kiebach: Bei Radarsensoren hängt die Empfindlichkeit ganz wesentlich von der Wellenlänge ab, die wiederum direkt durch die Frequenz bestimmt wird. Derzeit werden in

Straßenfahrzeugen Radarsensoren mit Frequenzen in den Bereichen um 24 und 77 GHz genutzt. Als Faustformel gilt: Je höher die Frequenz eines Radarsensors, umso höher ist seine Performance, aber auch seine Empfindlichkeit hinsichtlich Veränderungen seiner Abdeckung im Durchstrahlungsbereich! In Zukunft werden 77 GHz-Radarsensoren häufiger zum Einsatz kommen, sie reagieren aber besonders empfindlich auf nachträgliche Beschichtungen oder gar Reparaturen des Stoßfängers.

KTI

Herstellervorgaben

Warum unterschiedliche Herstellervorgaben?

Beispiel Radarsensoren

24 GHz	Mittlere Sendefrequenz	76 GHz
12,5 mm	Wellenlänge	3,9 mm
Relativ gering	Empfindlichkeit	Relativ hoch
Relativ gering	Genauigkeit	Relativ hoch



Bei Radarsensoren hängt die Empfindlichkeit ganz wesentlich von der Wellenlänge ab, die wiederum direkt durch die Frequenz bestimmt wird. Quelle: Kiebach 2021.

Neben der technischen Leistungsfähigkeit der Sensoren hängt die Reparaturmöglichkeit aber auch von den verschiedenen Rahmenbedingungen einzelner OEM ab. Dazu zählen unter anderem bereits existierende Vorgaben und Prozesse für Reparaturen sowie die sicherzustellenden Funktionen von Fahrerassistenzsystemen. So macht es beispielsweise hinsichtlich der erforderlichen Sensorperformance einen großen Unterschied, ob eine Tot-Winkel-Warnung vor einem Pkw warnt, der sich seitlich drei Meter hinter dem eigenen Fahrzeug befindet, oder ob ein schnell herannahendes Motorrad in 70 m Entfernung für einen Spurwechselassistenten sicher erkannt werden muss. Die Reparaturvorgaben für einen Radarsensor eines Spurwechselassistenten zur Erkennung eines Motorrades auf der Autobahn werden daher stringenter sein als für eine Tot-Winkel-Warnung im Nahbereich hinter dem eigenen Fahrzeug.

Haben alle Fahrzeughersteller/Importeure/Zulieferer Vorgaben für die Reparaturlackierung und kann sich ein freier K+L-Betrieb diese Informationen (ggf. mit welchem Aufwand) beschaffen?

Kiebach: Sämtliche technischen Zusammenhänge bezüglich der Funktion eines Fahrerassistenzsystems kennt nur der Fahrzeughersteller. Deshalb sollten immer die fahrzeugindividuellen und aktuellen Herstellervorgaben befolgt werden. Die Kosten für zum Beispiel eine Stunde Zugriff auf die Herstellerportale liegen, von wenigen Ausnahmen abgesehen, bei etwa 7 bis 15 Euro. Mit der Nutzung von OEM-Portalen können aber auch Schwierigkeiten verbunden sein. So sind einige Portale zeitweise nicht

erreichbar, und vor Nutzung ist eine Registrierung erforderlich. Zudem kann das Finden der richtigen und vollständigen Informationen zeitaufwendig und fehlerbehaftet sein, da sich die Logiken und verwendeten Begriffe zum Teil stark unterscheiden können. Eine zunehmend geeignete Alternative zur Nutzung der OEM-Portale ist der Zugriff auf originäre OEM-Reparaturanleitungen aus dem Kalkulationsprogramm heraus. Mit der Selektion eines Fahrzeugs mittels FIN kann die passende Reparaturanleitung dabei direkt in der Schadenkalkulation aufgerufen werden. Damit befindet sich der Nutzer automatisch an der Stelle in der Anleitung, die für die durchzuführende Arbeit von Bedeutung ist. Dadurch kann Zeit gespart werden, weil kein zusätzlicher Aufwand erforderlich ist, und die relevanten Informationen können zuverlässiger gefunden werden. Die Kosten hierfür liegen unter 5 Euro. Derzeit ist diese Funktion für Pkw der Marken Audi, Seat, Škoda und VW sowie Renault und Dacia verfügbar. Es ist aber davon auszugehen, dass die Markenabdeckung deutlich erweitert wird.

Welche Erfahrungen haben Sie mit unsachgemäß durchgeführten Reparaturlackierungen gemacht?

Kiebach: Zur Beantwortung der Frage, inwieweit Reparaturen von Stoßfängern und nachträglich aufgebrachte Folien die Funktion radarbasierter Fahrerassistenzsysteme beeinflussen, haben wir im KTI aufwendige Untersuchungen durchgeführt. Dazu wurden unter anderem fünf Stoßfänger bearbeitet, nacheinander an ein Fahrzeug mit radarbasierter Spurwechselwarnung montiert und Fahrversuche durchgeführt. Als Referenz diente ein unbearbeiteter Stoßfänger. Im Ergebnis zeigte sich insbesondere bei den Versuchen „Stoßfänger gespachtelt und lackiert“, „Stoßfänger mit Metallgewebe und Faserkunststoff repariert“ sowie „Stoßfänger unbearbeitet, ab- und angebaut ohne Kalibrierung/Justierung“ eine deutliche Verschlechterung der Funktion der Spurwechselwarnung.

Auf was bezüglich der handwerklichen Ausführung muss der K+L-Betrieb nach Ihrer Erfahrung bei der Reparaturlackierung besonders achten?

Kiebach: Auch an dieser Stelle ist nochmal auf die Herstellervorgaben zu verweisen. Dort sind die relevanten Parameter für eine Nachlackierung festgelegt. Das kann zum Beispiel die zu verwendenden Lackmaterialien und die Körnung des Schleifmittels betreffen oder die maximal zulässige Lackschichtdicke beziehungsweise die Anzahl der Nachlackierungen. Werden die Herstellervorgaben befolgt und wird dies möglichst auch dokumentiert, gibt das auch Sicherheit bei möglicherweise später auftretenden Schäden. Denn eine fehlerhaft erfolgte Arbeit an Fahrerassistenzsystemen kann im Fall eines dadurch verursachten Folgeunfalls ein erhebliches Haftungsrisiko für den ausführenden Betrieb darstellen! Zu empfehlen ist deshalb, dass vor Beginn und nach Beendigung sämtlicher Arbeiten die Einträge im Fehlerspeicher geprüft und wichtige Arbeitsschritte wie beispielsweise eine durchgeführte Kalibrierung oder aufgebrachte Lackschichten hinsichtlich Schichtdicke und verwendeter Materialien dokumentiert werden.

Ist in jedem Fall eine Kontrolle der Schichtdicke nach der Reparaturlackierung zu empfehlen oder ggf. sogar notwendig? Wenn ja – welches Gerät wäre dafür empfehlenswert?

Kiebach: Einige Fahrzeughersteller geben die höchste Anzahl der Nachlackierungen vor. Andere OEMs nennen eine maximal zulässige Lackschichtdicke. Für die Messung der Schichtdicke geben einige, aber nicht alle Hersteller das zu nutzende Gerät namentlich vor. Zu beachten ist, dass die Gefahr von falschen Ergebnissen bei der Messung der Lackschichtdicken auf Kunststoffen ungleich größer ist als auf metallischen Untergründen. Aus unserer Sicht ist daher eine geeignete Schulung der Anwender mit dem jeweiligen Messgerät zu empfehlen, da es einiger Erfahrung bedarf, das Gerät fachgerecht zu bedienen und Messfehler durch die Anwendung zu minimieren.

Auf was ist denn bei der Messung der Schichtdicke besonders zu achten, um valide Ergebnisse zu erzielen?

Kiebach: Zunächst muss die Messstelle sinnvoll gewählt werden, welche möglichst eben sein sollte und im Durchstrahlungsbereich der Radarsensoren liegt. Es sollte möglichst wenig Gel auf die Messstelle auftragen werden, da es bei dickeren Gelschichten zu einer Verfälschung des Messergebnisses kommen kann. Wenn möglich, ist mit Wasser als Koppelmedium zu arbeiten. Die Messsonde muss plan auf der Messstelle aufliegen und darf nicht verkippen.


Messen der Lackschichtdicken auf Kunststoff

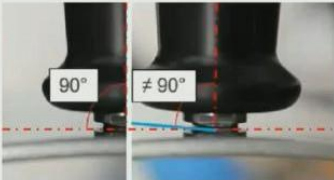
Probleme bei der Messung

- Gekrümmte Flächen
- Nachgiebige Flächen
- Unterscheidung der Schichten
- Messung auf nicht ebenen Flächen z.T. nicht möglich

Fazit

- Im Vergleich zur Messung von Lackschichten auf metallischen Untergründen höhere Anforderungen an den Anwender
- Schulung des Anwenders zu empfehlen, da es einiger Routine bedarf das Gerät fachgerecht bedienen zu können und Messfehler durch die Anwendung zu minimieren
- Mehrfache Messung und ggf. Analyse des Echoverlaufes unbedingt zu empfehlen





Die Messsonde muss plan auf der Messstelle aufliegen.

Quelle: Kiebach 2021.

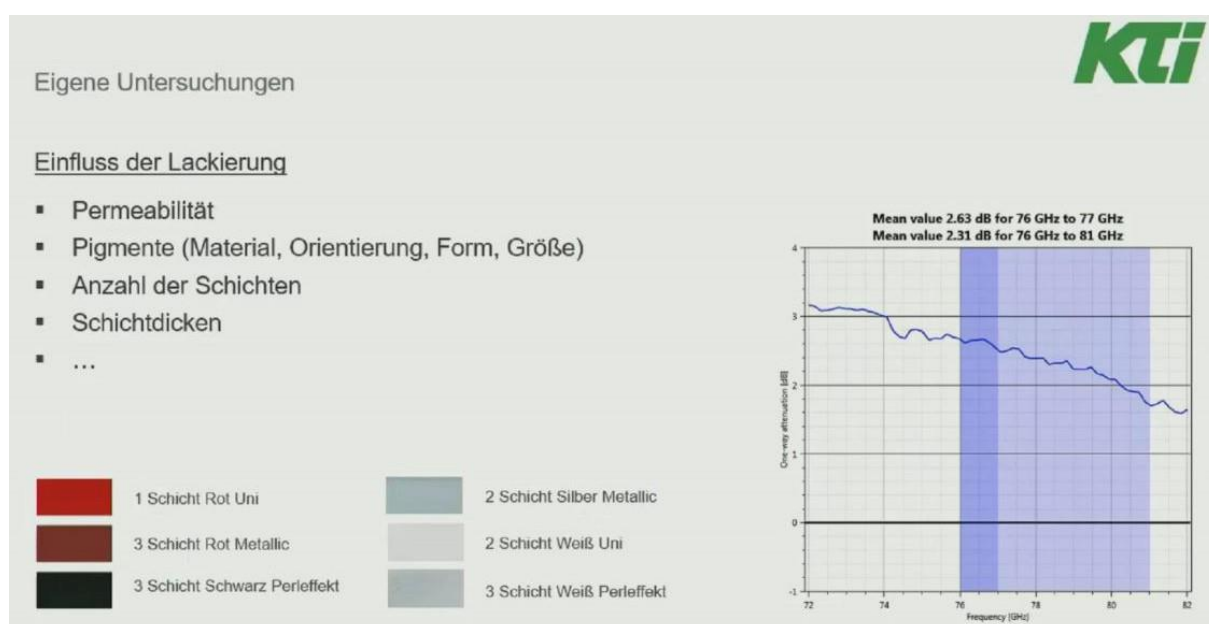
Es ist sinnvoll, an jeder Messstelle mehrere Messungen durchzuführen, bis ein stabiler Wert erreicht ist. Die Plausibilität der Messwerte sollte zum Beispiel mit Hilfe der grafischen Darstellung auf dem Display überprüft werden.

Sollte bei falscher Schichtdicke neu lackiert werden oder gibt es einen „Toleranzbereich“?

Kiebach: Als obere Grenze des „Toleranzbereichs“ ist der Wert in den Herstellervorgaben anzusehen.

Haben Sie bei den Versuchen auch Unterschiede bezüglich des Lackaufbaus, bei Lackinhaltsstoffen oder eventuell auch Lackherstellern ermitteln können und lassen sich dazu Angaben machen oder Empfehlungen für den K+L-Betrieb ableiten? Gibt es bestimmte Konstellationen, die im Reparaturfall nicht funktionieren und zu vermeiden sind?

Kiebach: Ja, je nach Lackhersteller und Farbe zeigt sich eine sehr unterschiedliche „Radartransparenz“ der Beschichtung.



Auch bestimmte Lackfarben, zum Beispiel Gold- oder Silbermetallic weisen aufgrund ihrer metallischen Pigmente eine hohe elektromagnetische Reflektivität auf. Quelle: Kiebach 2021.

Wie gut ein Radar durch einen beschichteten Stoßfänger sehen kann, hängt dabei von vielen Parametern ab. Dazu zählen unter anderem die Lackformulierung, die Anzahl und Dicke der einzelnen Schichten, deren elektrische Leitfähigkeiten und die enthaltenen Pigmente. Die relevanten Kennwerte lassen sich derzeit nur in aufwendigen Laboruntersuchungen ermitteln. Deshalb hatte ich bereits auf die zu verwendenden Lackmaterialien gemäß Herstellervorgaben hingewiesen.

Eine allgemeingültige Aussage zu bestimmten Konstellationen kann nicht getroffen werden. So weisen bestimmte Lackfarben, zum Beispiel Gold- oder Silbermetallic, aufgrund ihrer metallischen Pigmente in der Regel eine hohe elektromagnetische Reflektivität auf. Aber auch weißer Basislack ohne Metallic-Effekt kann aufgrund der enthaltenen Weißpigmente aus Titandioxid problematisch sein. Eine ebenfalls bedeutende Rolle spielt die elektrische Leitfähigkeit der Grundierung. Und wie bereits erwähnt, kommt auch der Schichtdicke eine große Bedeutung zu. So kann es passieren, dass

ein an sich unproblematischer Lack mit hohen Schichtdicken aufgetragen werden muss, weil er ein schlechtes Deckvermögen hat, und dadurch Radarsignale stark dämpft. Deshalb muss immer das gesamte System aus Funktionen des Fahrerassistenzsystems und daraus resultierenden Anforderungen an die Sensorik, dem eingesetzten Radarsensor und Eigenschaften der Abdeckung – also des Stoßfängers mit seiner Beschichtung – betrachtet werden.

**Wie verhält sich die Sensor-Problematik mit nachträglich folierten Fahrzeugen?
Gibt es dazu auch schon Erkenntnisse?**

Kiebach: Bei Folierungen lassen sich kleinste Lufteinschlüsse nicht vermeiden. Neben einer gewissen Dämpfung durch die Folie kommen deshalb ein bis zwei Grenzschichten hinzu. Deshalb ist ein Aufbringen von Folien im Durchstrahlbereich von Radarsensoren bei keinem mir bekannten Fahrzeug gestattet. Dieser Hinweis findet sich übrigens auch in den Bedienungsanleitungen der Fahrzeuge. Darin wird darauf hingewiesen, dass vor Radarsensoren keine Aufkleber aufgebracht werden dürfen.

Herr Kiebach, herzlichen Dank!